تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۳/ شماره ۸۶/ بهار ۱۴۰۱/ص ۱۸-۱

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

بررسی کارایی نیزار طبیعی در حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره زهاب مزارع نیشکر خوزستان

بهمن یارقلی[1*]، الهه کنعانی[2] و سالومه سپهری صادقیان[3]

۱ و ۳- به ترتیب: استادیاران مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۹

چکیده

با توجه به کمبود آب در ایران و رشد جمعیت و افزایش نیاز آبی در مصارف مختلف، برنامه‌ریزی برای حفاظت و مدیریت کیفی منابع آب و استفادهٔ بهینه از آب‌های نامتعارف به‌ویژه زهاب‌های کشاورزی، به‌عنوان منابع آب جایگزین، ضرورت بیشتری یافته است. زهاب‌های تولیدشده در بخش کشاورزی با توجه به حجم بالا، غیرمتمرکز بودن و کیفیت نامناسب از مهم‌ترین منابع آب برگشتی با پتانسیل زیاد در آلودگی منابع آب هستند. بدین منظور در پژوهش حاضر به بررسی کارایی نیزار طبیعی در مقیاس واقعی در پالایش کیفی زهاب خروجی مزارع نیشکر کشت و صنعت‌های بزرگ استان خوزستان در مدت یک سال (۱۳۹۸) پرداخته شده است. در این تحقیق، طول نیزار به سه قسمت مساوی با سه ایستگاه متوالی ST1، ST2 و ST3 تقسیم شد. ابعاد نیزار بین دو ایستگاه متوالی به طول ۳/۵ کیلومتر، عرض ۱/۲ کیلومتر و عمق ۰/۵ متر بود. کارایی نیزار طبیعی در بهبود کیفیت زهاب ورودی با سنجش پارامترهای BOD، COD، PO_4 و TP بررسی و نشان داده شد عملکرد نیزار در حذف پارامترهای موردبررسی قابل‌قبول است. میزان حذف BOD، COD، PO_4 و TP تا آخرین ایستگاه، در هر چهار فصل محسوس و قابل‌قبول بود. تحت زمان‌ماندهای مختلف (۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز) میزان کاهش در غلظت BOD، COD، PO_4 و TP در هر یک از ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 بررسی و نشان داده شد که با افزایش فاصله از نقطه ورودی زهاب به نیزار، کارایی نیزار افزایش می‌یابد. بیشترین راندمان حذف برای هر یک از پارامترهای موردبررسی در ایستگاه ST_3 حاصل شد که عبارت بود از ۷۶/۰۸ درصد در زمان‌ماند ۱/۶۰ روز برای BOD، ۶۶/۲۹ درصد در زمان‌ماند ۱/۳۰ روز برای COD، ۹۳/۶۹ درصد در زمان‌ماند ۱/۲۶ روز برای TP و ۹۲/۷۸ درصد در زمان‌ماند ۱/۱۰ روز برای PO_4. با توجه به عملکرد متفاوت ایستگاه‌های سه‌گانه در بهبود کیفی زهاب و با توجه به هدف راندمان حذف بالای ۵۰ درصد مجموع مواد آلی و ترکیبات فسفره تا ایستگاه شماره ۲، می‌توان این ایستگاه را به‌عنوان حد بهینه از نظر کارایی و هزینه در نظر گرفت. در مجموع، این سیستم می‌تواند به‌عنوان یک سیستم کارآمد در کاهش آلاینده‌های متداول زهاب در حد استانداردهای تصفیهٔ زهاب و کاهش قابل‌قبول پارامترهای BOD، COD، PO_4 و TP زهاب کشاورزی و بهبود کیفیت این زهاب برای تخلیه به آب‌های سطحی و زیرزمینی و استفادهٔ مجدد به‌منظور آبیاری در مزارع کشاورزی مطرح باشد.

واژه‌های کلیدی

زهاب کشاورزی، نیزار طبیعی، تصفیهٔ زیستی، ترکیبات مغذی

مقدمه

نیاز فزاینده به غذا و افزایش تولید محصولات کشاورزی و در نتیجهٔ آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و اثرهای زیان‌بار زیست‌محیطی زهاب‌های کشاورزی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و منابع آبی پذیرنده از سوی دیگر، جهانیان را بر آن داشته است

* نگارنده مسئول: Email: yar_bahman@yahoo.com

http://doi: 10.22092/idser.2022.356392.1492

تا در جستجوی روش‌ها و فنونی باشند که همراه با کاهش پیامدهای زیان‌بار و ناگوار زهاب‌ها، امکان استفاده مجدد از آنها را برای تأمین بخشی از نیازهای انسانی فراهم آورند. در بسیاری از مناطق که با کمبود آب برای آبیاری مواجه هستند، از زهاب برای تأمین نیاز آبی محصولات استفاده می‌شود. بهره‌گیری از زهاب‌های کشاورزی با توجه به حجم قابل‌توجه و محدودیت کیفی کمتر، در مقایسه با پساب‌های شهری و صنعتی، و همچنین نزدیکی به محل مصرف (زمین‌های کشاورزی)، به‌عنوان یکی از گزینه‌های مهم منابع آب غیرمتعارف مدنظر است (Yargholi *et al.*, 2015). مواد مغذی و ترکیبات فسفره دو آلایندهٔ اساسی در زهاب‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. هنگامی‌که غلظت فسفر در محیط‌های آبی بیش از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر شود، پدیده یوتروفیکاسیون[1] اتفاق می‌افتد که کیفیت آب را از طریق افزایش رشد جلبک‌های دریایی، کاهش اکسیژن و کاهش انتقال نور تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kim *et al.*, 2018). از جمله فناوری‌های دوستدار محیط‌زیست و ارزان‌قیمت، گیاه‌پالایی[2] است که در آن برای رفع آلودگی آب از ظرفیت گیاهان استفاده می‌شود (Mohd-Said *et al.*, 2020). تالاب‌های طبیعی سامانه‌هایی هستند که با تکیه بر فرآیند گیاه‌پالایی با هزینه کم و تکنولوژی ساده به‌منظور بهسازی کیفیت پساب‌ها از آنها استفاده می‌شود در مطالعات مختلف به نقش تالاب‌ها در کاهش ترکیبات نیتراته، فسفره، COD، BOD و باکتری‌ها اشاره شده است (Darajeh *et al.*, 2016; Bakhshoodeh *et al.*, 2020; Anton *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021). هارستد و همکاران (Haarstad *et al.*, 2012) در بررسی‌هایشان از تالاب‌های مصنوعی که در آنها گیاه آبزی نی (*Phragmites australis*) کاشته شده بود، میزان کاهش آلاینده‌ها را با مقادیر ۲۱ درصد برای کل فسفات‌ها، ۶۴/۵ درصد برای تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن (BOD_5)، ۶۸ درصد برای نیاز اکسیژن شیمیایی (COD) و ۲۰/۷ درصد برای نیتروژن کل (TN) با استفاده از ۳/۹۶ روز زمان‌ماند گزارش کردند. مارزک و همکاران (Marzec *et al.*, 2018) راندمان حذف آلاینده و قابلیت اطمینان تالاب مصنوعی ترکیبی جریان عمودی و افقی کاشته شده با نی معمولی (چمن مانا و گل مینای ویرجینیا) در لهستان را روی پارامترهای تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی (BOD_5)، تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD)، مواد جامد معلق، نیتروژن کل و فسفر کل تجزیه‌وتحلیل کردند و نشان دادند که بیش از ۹۵ درصد از BOD_5، COD و کل فسفر در سیستم تالاب مصنوعی آزمایش‌شده حذف شده و میانگین اثربخشی حذف مواد جامد معلق و نیتروژن کل از ۸۶ درصد فراتر رفته است. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که سیستم تالاب مصنوعی ترکیبی بررسی‌شده با نی معمولی چمن مانا و گل مینای ویرجینیا مقادیر BOD_5، COD، مواد جامد معلق و فسفر کل را در فاضلاب تصفیه‌شده به حد پایین و پایداری تضمین می‌کند. کلانکش و همکاران (Kalankesh *et al.*, 2019) به بررسی راندمان حذف نیترات، فسفات و کل کلیفرم‌ها توسط تالاب ساخته‌شده از جریان زیرسطحی افقی از فاضلاب خانگی پرداختند. در این بررسی، دو گیاه محلی آپالاچی (*Louis latifolia*) و (*Phragmites australis*) در تالاب‌های مصنوعی در مقیاس کوچک برای تصفیه فاضلاب خانگی در شمال ایران کاشته شدند. نتایج تحقیقات نشان داد که نیترات، فسفات و کل کلیفرم‌ها به ترتیب ۸۴/۴، ۹۴/۴ و ۹۳/۹ درصد برای *P. Australis* و ۷۳/۳،

1- Eutrophication

2- Phytoremediation

۶۴/۰ و ۹۲/۱ درصد برای *L. latifolia* کاهش یافته‌است. همچنین نشان داده شد که با استفاده از تالاب ساخته‌شده از جریان زیرسطحی افقی با گیاهان *L. Latifolia* و *P. australis*، پارامترهای فاضلاب تصفیه‌شده با پارامترهای تخلیهٔ فاضلاب استانداردهای سازمان بهداشت جهانی کاملاً مطابقت دارد.

یکی از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در استان خوزستان واحدهای کشت و صنعت نیشکر است. استان خوزستان از قطب‌های اصلی تولید شکر در ایران و جهان محسوب می‌شود و واحدهای کشت و صنعت نیشکر متعددی از شمال تا جنوب این استان گسترش یافته‌اند. بررسی منابع نشان می‌دهد که استان خوزستان در وضع موجود پتانسیل تولید ۳ میلیارد مترمکعب زهاب کشاورزی دارد که از این میزان حدود ۱/۵ میلیارد توسط شبکه‌های آبیاری و زهکشی جمع‌آوری و بدون هیچ استفاده سودمندی دفع می‌شود (Sharifipour *et al.*, 2020). فاضلاب صنعتی و کشاورزی واحدهای کشت و صنعت نیشکر معمولاً حاوی مقادیر زیادی از مواد مغذی، املاح محلول و مواد آلی هستند که در گذشته مستقیماً به آب‌های سطحی و رودخانه‌ها تخلیه می‌شدند، اما با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی به وجود آمده، این پساب‌ها در حال حاضر به هورالعظیم هدایت می‌شوند (خوش نواز و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی کارایی این تالاب طبیعی در بهبود کیفیت زهاب‌های کشاورزی و مهندسی کردن طراحی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آن می‌تواند به‌عنوان دستاوردی بزرگ در تصفیه زهاب‌های استان خوزستان و کشور مورداستفاده و بهره‌برداری قرار بگیرد. در این پژوهش در نظر است کارایی این تالاب در مقیاس واقعی در بهبود کیفیت زهاب‌های خروجی مزارع نیشکر کشت و صنعت‌های امیرکبیر و میرزا کوچک خان در جنوب غرب استان خوزستان در فصل‌های مختلف سال ارزیابی و توصیه‌های کاربردی به‌منظور استفاده بهینه از این پتانسیل طبیعی منطقه ارائه شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقهٔ موردمطالعه

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی کارایی نیزار طبیعی در مقیاس واقعی در پالایش کیفی زهاب خروجی مزارع نیشکر استان خوزستان از فروردین تا پایان اسفندماه سال ۱۳۹۸ اجرا شد. مزارع نیشکر شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان و امیرکبیر دارای حداکثر حجم زهاب تولیدی به میزان ۲۵ مترمکعب بر ثانیه هستند که به تالاب ناصری دفع می‌شود. تالاب ناصری در ۱۷ کیلومتری شمال خرمشهر، در موقعیت جغرافیایی N ۳۰۳۸۰۵/۹۴ و E ۴۸۰۷۵۹/۸۶ واقع شده است و وسعت آن بر پایه بازدیدها و نقشه‌های موجود در حدود ۲۳۰۰۰ هکتار است. در ورودی این تالاب (در بخش ابتدایی تالاب غرب) نیزاری به طول حدود ۱۰/۵ کیلومتر و عرض حدود ۱/۲ کیلومتر (مساحت حدود ۱۲/۶ کیلومترمربع) به‌صورت طبیعی طی بیست سال گذشته شکل‌گرفته است که پوشیده از نی لویی است و جریان زهاب قبل از ورود به تالاب از این نیزار عبور می‌کند و به‌صورت طبیعی کیفیت آن تا حد قابل‌توجهی بهبود می‌یابد (شکل ۱ و ۲).

شکل ۱- موقعیت و ابعاد تالاب مصنوعی جنوب اهواز

Figure 2- Location and dimensions of the artificial wetland south of Ahvaz

شکل ۲-تصویری از نیزار مورد مطالعه

Figure 3 – Picture of the study reeds

آب ورودی به شبکه آبیاری و زهکشی

منبع آب مورداستفاده در مزارع نیشکر رودخانهٔ کارون است. از این منبع با تواتر ماهیانه در دورهٔ یک‌ساله نمونه‌برداری و پارامترهای کیفی BOD، COD، PO_4 و TP آن آنالیز شد.

زهاب تولیدی

زهاب تولیدی شبکهٔ آبیاری و زهکشی میرزا کوچک خان و امیرکبیر که حاصل مزارع نیشکر کشت و صنعت است با دبی حداکثر ۲۵ مترمکعب در ثانیه به‌طور مستقیم به نیزار و در ادامه به تالاب منتقل می‌شود و منبع نمونه‌برداری دیگر محسوب می‌شود که با تواتر ماهیانه طی دورهٔ یک‌ساله نمونه‌برداری و پارامترهای کیفی BOD، COD، PO_4 و TP آن آنالیز شد.

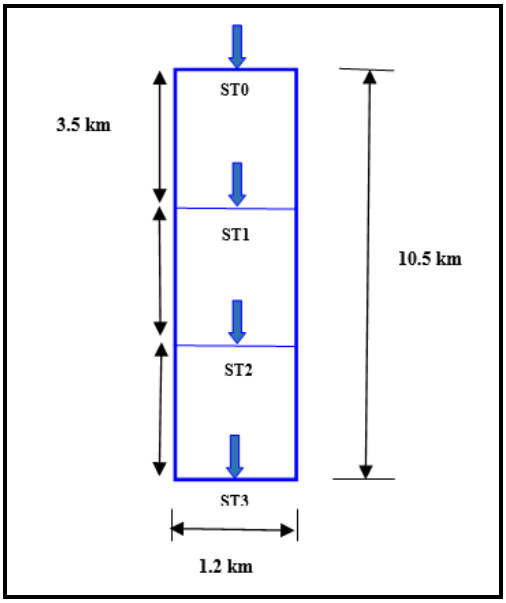
مکانیزم و فرآیندهای حذف آلاینده‌ها در روش نیزار

- فرآیندهای فیزیکی: مانند فیلتراسیون، ته‌نشینی که در پالایش آلاینده‌ها و شاخص‌های فیزیکی مانند کدورت و TSS و تا حدودی رنگ مؤثر هستند
- فرآیندهای شیمیایی: مانند اکسیداسیون و احیا که در حذف فلزات سنگین، آلاینده‌های معدنی، ترکیبات فسفره و نیتروژنی مؤثر هستند.
- فرآیندهای بیولوژیکی: که توسط دو گروه (میکرو ارگانیسم‌ها و ماکرو ارگانیسم‌ها) در حذف ترکیبات و عناصر مغذی مانند ترکیبات نیتروژنی ، فسفره، مواد آلی و معدنی و فلزات سنگین موثر هستند. میکرو ارگانیسم‌ها به‌صورت باکتری‌ها و جلبک در سطح بستر، به‌صورت معلق در آب و همچنین چسبیده به

ریشهٔ گیاهان مستقر هستند؛ و ماکرو ارگانیسم‌ها هم طیف وسیعی از جانداران از گیاهی و جانوری را شامل می‌شوند که در این تحقیق نی گونه و نوع غالب‌اند که با جذب و مصرف آلاینده‌هایی مانند عناصر مغذی و فلزات سنگین و مواد آلی و معدنی در اصل نیاز غذایی خود را تأمین می‌کنند و در پالایش زهاب نقش دارند.

نمونه‌برداری در سه‌نقطه در طول نیزار

با توجه به روند تغییرات کیفی و مراحل تصفیهٔ زهاب تولیدی در طول نیزار، در این مرحله طول نیزار به سه قسمت یعنی ایستگاه ST1، ST2 و ST3 تقسیم شده است (ایستگاه سوم انتهای نیزار). در شکل ۳ شماتیکی از موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه در پژوهش حاضر ارائه شده است. ابعاد نیزار بین دو ایستگاه متوالی به طول ۳/۵ کیلومتر، عرض ۱/۲ کیلومتر و عمق ۳۵ تا ۷۵ سانتی‌متر و میانگین ۵۰ سانتی‌متر است.



شکل ۳-شماتیکی از موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه

Figure 3 - Schematic of the study stations

نوع گیاه موجود در تالاب نی از گونهٔ لویی، با تراکم میانگین ۵ بوته در هر مترمربع است. تغییرات عمق آب از حداقل ۳۵ تا حداکثر ۷۵ سانتی‌متر متغیر و به‌طور میانگین ۵۰ سانتی‌متر است. از هر قسمت با تواتر ماهیانه برای پایش و اندازه‌گیری پارامترهای مواد آلی و ترکیبات فسفره نمونه‌برداری شد. هریک از پارامترهای BOD، COD، PO_4 و TP با استفاده از روش‌های ارائه‌شده در ویرایش بیست و سوم کتاب روش‌های استاندارد (Baird, 2017)، تعیین شده است. به‌منظور بررسی تأثیر نیزار طبیعی بر پارامترهای مورد بررسی، از برنامهٔ آماری SPSS و آزمون t-test استفاده شد.

همچنین، مقدار و روند حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره مشخص و مناسب‌ترین فاصله از نقطهٔ ورودی تالاب برای پالایش زهاب‌های کشاورزی تعیین شد.

زمان‌ماندهای موردبررسی در این پژوهش از معادلهٔ زیر محاسبه گردید:

$$\text{زمان‌ماند} = \frac{\text{حجم نیزار}}{\text{دبی ورودی به نیزار}} \quad (۱)$$

منظور از حجم نیزار، حاصل‌ضرب مساحت نیزار در عمق متوسط آن است. به‌عبارت دیگر حجمی است که زهاب در داخل آن قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

تحلیل آماری غلظت مواد آلی و ترکیبات فسفره در ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون t-test

به‌منظور مقایسهٔ بهتر ایستگاه‌های مطالعاتی در حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره (BOD، COD، PO_4 و TP) از زهاب ورودی، آزمون t-test به‌صورت دوبه‌دو بین ایستگاه‌های مطالعاتی ST0-ST1، ST0-ST2، ST0-ST3، ST1-ST2، ST1-ST3، ST2-ST3 دنبال شد. که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج آزمون t-test نشان داد که بین ایستگاه‌های مطالعاتی ST0-ST1، ST0-ST2، ST0-ST3، ST1-ST2، ST1-ST3، ST2-ST3 در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری از نظر BOD وجود دارد. بیشترین اختلاف در میزان BOD بین دو ایستگاه ST0-ST3 برابر با ۶/۹۶ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. کمترین اختلاف در میزان BOD نیز بین ST0-ST1 برابر با ۱/۷۳ میلی‌گرم بر لیتر است (جدول ۱). در ایستگاه ST3 که بیشترین فاصله را نسبت به نقطه ورودی دارد، بیشترین درصد حذف BOD مشاهده شد.

بین ایستگاه‌های مطالعاتی اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد برای COD نیز مشاهده شد. همانند BOD، بیشترین اختلاف در میزان COD بین ایستگاه‌های ST0-ST3 برابر با ۹/۶۲ میلی‌گرم بر لیتر و سپس بین ایستگاه‌های ST1-ST3 برابر با ۷/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد.

جدول ۱- تحلیل آماری غلظت مواد آلی و ترکیبات فسفره در ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون t-test

Table 1- Statistical analysis of the concentration of organic matter and phosphorus compounds in different stations based on t-test

	ایستگاه‌های مورد مقایسه	پارامتر	اختلاف میانگین‌ها (mg/lit)	معناداری دو دامنه‌ای	پارامتر	ایستگاه‌های مورد مقایسه	اختلاف میانگین‌ها (mg/lit)	معناداری دو دامنه‌ای
مواد آلی	ST0-ST1	BOD	۱/۷۳	۰/۰۰۰**	COD	ST0-ST1	۲/۵۰	۰/۰۰۰**
	ST0-ST2		۴/۷۴	۰/۰۰۰**		ST0-ST2	۶/۲۵	۰/۰۰۰**
	ST0-ST3		۶/۹۶	۰/۰۰۰**		ST0-ST3	۹/۶۲	۰/۰۰۰**
	ST1-ST2		۳/۰۱	۰/۰۰۰**		ST1-ST2	۳/۷۵	۰/۰۰۰**
	ST1-ST3		۵/۲۳	۰/۰۰۰**		ST1-ST3	۷/۱۲	۰/۰۰۰**
	ST2-ST3		۲/۲۲	۰/۰۰۰**		ST2-ST3	۳/۳۷	۰/۰۰۰**
ترکیبات فسفره	ST0-ST1	PO_4	۰/۱۱۷۴	۰/۰۰۰**	TP	ST0-ST1	۰/۱۶۱۷	۰/۰۰۱**
	ST0-ST2		۰/۱۷۶۱	۰/۰۰۰**		ST0-ST2	۰/۲۶۲۸	۰/۰۰۱**
	ST0-ST3		۰/۲۷۲۴	۰/۰۰۰**		ST0-ST3	۰/۳۷۹۰	۰/۰۰۱**
	ST1-ST2		۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۰**		ST1-ST2	۰/۱۰۱۱	۰/۰۰۱**
	ST1-ST3		۰/۱۵۵۰	۰/۰۰۰**		ST1-ST3	۰/۲۱۷۱	۰/۰۰۱**
	ST2-ST3		۰/۹۶۲۹	۰/۰۰۰**		ST2-ST3	۰/۱۱۶۱	۰/۰۰۱**

کمترین اختلاف در میزان COD نیز بین ST0-ST1 برابر با ۲/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده می‌شود و در اینجا نیز ایستگاه ST3 بیشترین راندمان حذف COD را با بیشترین فاصله از نقطه ورودی دارد. بین همهٔ ایستگاه‌های مطالعاتی نیز اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در میزان PO_4 و TP نیز مشاهده می‌شود و بیشترین اختلاف در میزان PO_4 و TP به ترتیب با مقادیر ۰/۲۷۲۴ و ۰/۳۷۹۰ میلی‌گرم بر لیتر بین ایستگاه‌های ST0-ST3 است و کمترین اختلاف در میزان PO_4 و TP نیز بین ایستگاه‌های ST1-ST2 مشاهده می‌شود.

روند تغییرات بررسی اثر نیزار طبیعی بر حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره

در شکل (۴) و جدول (۲) روند تغییرات BOD، COD، PO_4 و TP زهاب ورودی به و خروجی از نیزار به‌صورت فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) ارائه شده است. چون کمیت و کیفیت زهاب و نیز عملکرد تالاب در فصل‌های مختلف متفاوت است، تحلیل نتایج و ارزیابی عملکرد به‌صورت فصلی برای هر یک از ایستگاه‌ها ارزیابی شده است. نتایج نشان داد که کاربرد نیزار طبیعی باعث کاهش غلظت مواد آلی BOD و COD نسبت به غلظت اولیه در ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 در هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان شده و با افزایش فاصله از نقطهٔ ورودی این کاهش بیشتر شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کاهش تغییرات نسبت به غلظت اولیه در ایستگاه ST2 و ST3 بیشتر و در ایستگاه ST3 بیشترین است.

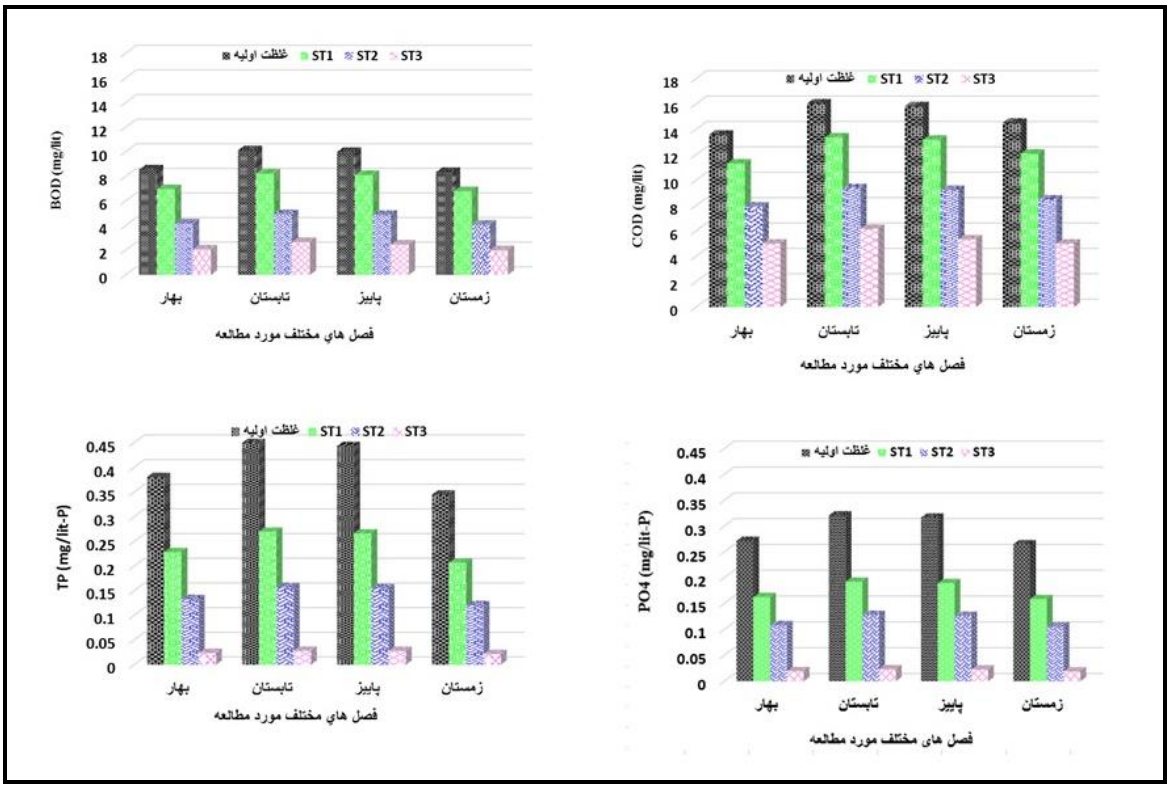
میانگین کل سالانه برای پارامتر BOD زهاب خروجی در ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 به ترتیب برابر با ۷/۵۳، ۴/۵۲ و ۲/۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است که نسبت به غلظت اولیهٔ آن در زهاب ورودی به ترتیب ۱۸، ۵۱ و ۷۵ درصد کاهش دارد.

پارامتر COD در زهاب خروجی نیز در هر سه ایستگاه ST1، ST2 و ST3 نسبت به غلظت اولیه در زهاب ورودی روند کاهشی دارد و با ۱۶/۶۱، ۴۱ و ۶۴ درصد کاهش کارایی خوب نیزار را در دو ایستگاه ST2 و ST3 نشان می‌دهد. روند تغییرات غلظت ترکیبات فسفره PO_4 و TP نسبت به غلظت اولیه مشابه با روند تغییرات مواد آلی است، اما میزان غلظت در ایستگاه ST3 دارای کاهش بیشتری است و در مقایسه با ایستگاه‌های ST1 و ST2 به کمترین مقدار رسیده است، به‌طوری‌که مقدار PO_4 در هریک از ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 به ترتیب برابر با ۳۸، ۵۸ و ۹۳ درصد و مقدار TP در هریک از ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 به ترتیب برابر با ۴۰، ۶۵ و ۹۲ درصد نسبت به غلظت اولیه کاهش دارد که نشان‌دهنده تأثیر زیاد کاربرد نیزار در کاهش PO_4 و TP است (شکل ۴).

جدول ۲-میانگین فصلی غلظت مواد آلی و ترکیبات فسفره از سه ایستگاه موردمطالعه

Table 2- Seasonal average concentrationof organic matter and phosphorus compounds from the three study stations

پارامتر		BOD (mg/lit)		COD (mg/lit)		PO_4 (mg/lit)		TP(mg/lit)	
ایستگاه	فصول	زهاب ورودی	زهاب خروجی	زهاب ورودی	زهاب خروجی	زهاب ورودی	زهاب خروجی	زهاب ورودی	زهاب خروجی
ST1	بهار	۸/۵۷	۶/۹۷	۱۳/۵۸	۱۱/۳۲	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۲۳
	تابستان	۱۰/۱۲	۸/۲۳	۱۶/۰۵	۱۳/۳۷	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۴۵	۰/۲۷
	پاییز	۹/۹۸	۸/۱۲	۱۵/۸۳	۱۳/۱۹	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۴۴	۰/۲۷
	زمستان	۸/۳۶	۶/۸۰	۱۴/۵۲	۱۲/۱۰	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۳۴	۰/۲۱
	میانگین	۹/۲۶	۷/۵۳	۱۴/۹۹	۱۲/۵۰	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۲۴
ST2	بهار	۸/۵۷	۴/۱۸	۱۳/۵۸	۷/۹۲	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۱۳
	تابستان	۱۰/۱۲	۴/۹۴	۱۶/۰۵	۹/۳۶	۰/۳۲	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۱۶
	پاییز	۹/۹۸	۴/۸۷	۱۵/۸۳	۹/۲۳	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۱۶
	زمستان	۸/۳۶	۴/۰۸	۱۴/۵۲	۸/۴۷	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۱۲
	میانگین	۹/۲۶	۴/۵۲	۱۴/۹۹	۸/۷۵	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۴۰	۰/۱۴
ST3	بهار	۸/۵۷	۲/۰۷	۱۳/۵۸	۵	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۳۸	۰/۰۲
	تابستان	۱۰/۱۲	۲/۶۷	۱۶/۰۵	۶/۱۷	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۴۵	۰/۰۳
	پاییز	۹/۹۸	۲/۴۷	۱۵/۸۳	۵/۳۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۴۴	۰/۰۳
	زمستان	۸/۳۶	۲/۰۰	۱۴/۵۲	۵/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۰۲
	میانگین	۹/۲۶	۲/۳۰	۱۴/۹۹	۵/۳۸	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۰۳
استانداردهای محیط‌زیستی	تخلیه به آب‌های سطحی	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)		۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)		۶		-	
	تخلیه به چاه جاذب	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)		۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)		۶		-	
	مصارف کشاورزی و آبیاری	-		-		-		-	



شکل ۴- تأثیر کاربرد نیزار طبیعی بر تغییرات مکانی و فصلی مواد آلی و ترکیبات فسفره زهاب خروجی

Figure 4 - The effect of natural reed application on spatial and seasonal variations of organic matter and phosphorus compounds of output drainage water

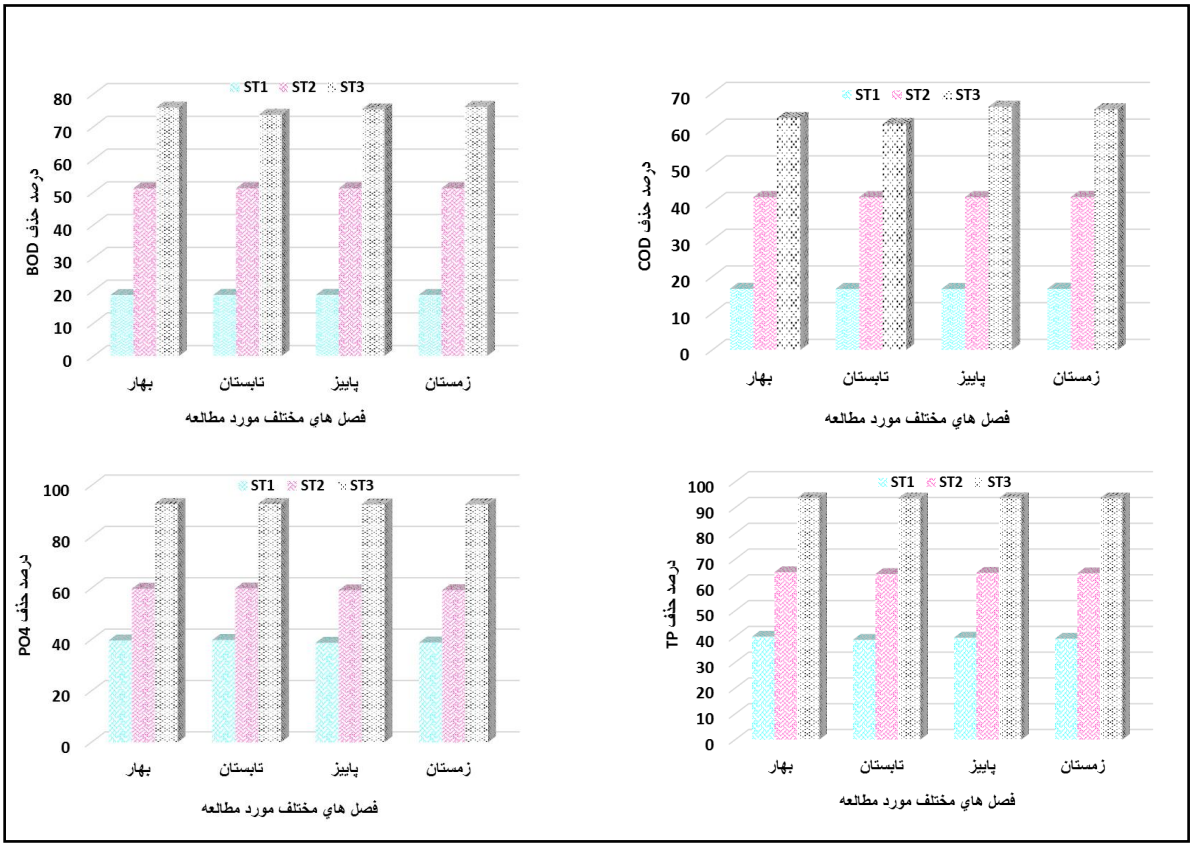
همان‌طوری‌که نتایج نشان می‌دهد هر سه ایستگاه مطالعاتی ST1، ST2 و ST3 در حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره از زهاب ورودی عملکردهای متفاوتی را از خود نشان دادند. با توجه به هدف راندمان بالای ۵۰ درصد حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره تا ایستگاه شماره ۲، می‌توان ایستگاه ST2 را به‌عنوان حد بهینه از نظر کارایی و هزینه فرض کرد. درصورتی‌که از نظر زمان و هزینه محدودیتی وجود نداشته باشد، ایستگاه ST3 دارای راندمان بالاتر و کارایی بهتری در حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره خواهد بود. در تحقیق مشابهی نیز تأثیر سامانه نیزار در بهبود کیفیت زهاب از نظر پارامترهای NO_3^-، PO_4^{-2} و SO_4^{-2} بررسی شد و کاهش غلظت پارامترهای NO_3^-، PO_4^{-2} و SO_4^{-2} به ترتیب به میزان ۳۷ و ۳۱ و ۱۸ درصد نسبت به غلظت ورودی زهاب با کاربرد نیزار طبیعی حاصل گردید (Akhavan *et al.*, 2017). بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعات در زمینهٔ تأثیر نیزار طبیعی در تصفیهٔ آلاینده‌های زهاب کشاورزی محدود است، اما در تحقیقات مشابه روی حذف ترکیبات نیتروژنی و فسفره در فاضلاب با کاربرد علف وتیور در تالاب‌های مصنوعی نشان داده شد که پس از ۸۸ ساعت زمان‌ماند، گیاه وتیور می‌تواند ترکیبات آمونیوم، نیتریت و فسفات را با کارآمدی بالای ۹۱ درصد از محیط حذف کند (Jamshidi *et al.*, 2016). کارایی گیاه *Phragmites australis* کاشته شده در تالاب‌های مصنوعی نیز حاکی از میزان کاهش آلاینده‌ها با ۲۱ درصد حذف برای کل فسفات‌ها و ۲۰/۷ درصد حذف برای نیتروژن کل (TN) با استفاده از ۳/۹۶ روز زمان‌ماند است (Haarstad *et al.*, 2012).

بررسی زهاب تولیدی از نظر تطابق با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران

به‌منظور استفادهٔ مجدد از پساب و تخلیهٔ آن به منابع آب‌های سطحی، تخلیه به چاه جاذب و مصارف کشاورزی و آبیاری، میزان هر یک پارامترهای BOD و COD و PO_4 باید در حد استاندارد باشد که در این مورد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران با توجه به نوع استفاده از پساب، استانداردهایی را ارائه داده است (جدول ۲). در این پژوهش غلظت BOD و COD و PO_4 در هر دو زهاب ورودی و خروجی کمتر از حد مجاز استاندار تعیین‌شده با سازمان محیط‌زیست است و نیزار توانست کیفیت زهاب خروجی را با حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره به میزان قابل‌قبولی بهبود ببخشد. تجمع مواد مغذی در زهاب‌های کشاورزی و راهیابی آنها به منابع آب سطحی و زیرزمینی، معضلات محیط‌زیستی فراوانی را به همراه خواهد داشت. ورود ترکیبات مغذی فسفره به منابع آب سطحی و زیرسطحی باعث افزایش آلودگی در این منابع خواهد شد. حتی چنانچه از زهاب‌های کشاورزی با تمهیداتی به‌عنوان منابع آب برگشتی استفاده مجدد بشود، در این صورت نیز در فصل‌های غیر زراعی زهاب‌های زیرزمینی بالاجبار به آب‌های سطحی تخلیه می‌شوند. این مسئله به علت تغذیه گرایی آب‌های سطحی، خصوصاً در مواردی که مقادیر نیتروژن و فسفر در این آب‌ها زیاد باشد، موجب آلودگی منابع آب و تخریب محیط‌زیست می‌شود و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به طبیعت، سلامت انسان و جانوران و گیاهان وارد خواهد کرد. با حرکت ترکیبات فسفره، به‌ویژه نیترات به سفره آب‌های زیر-زمینی منابع آب زیرزمینی نیز آلوده می‌شوند (اخوان و همکاران، ۱۳۹۶). در مناطقی که از آب زیرزمینی برای شرب و حفظ بهداشت استفاده می‌شود، وجود ترکیبات نیتروژنی خطرهای بهداشتی فراوانی ایجاد خواهد کرد. استفاده از نیزار طبیعی برای کاهش پارامترهای زیان‌آور زهاب‌های کشاورزی، پیش از تخلیه در آب‌های سطحی، باعث کاهش این خطرها خواهد بود. همان‌طوری که کیفیت زهاب تصفیه‌شده با نیزار طبیعی نشان می‌دهد، از نظر تخلیهٔ زهاب به آب‌های سطحی، پارامترهای BOD، COD و PO_4 کمتر از حد مجاز استاندارد هستند و نیزار کارایی خوبی در کاهش پارامترهای مذکور از خود نشان داده است و می‌توان نتیجه گرفت که زهاب تولیدی از نظر پارامترهای موردمطالعه (BOD، COD و PO_4) با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست مطابقت دارد و می‌توان از آن مجددا بهره گرفت یا به آب‌های پذیرنده تخلیه کرد.

درصد حذف مواد آلی و ترکیبات مغذی فسفره تحت تأثیر نیزار طبیعی در فصل‌های مختلف

در شکل ۵ درصد حذف مواد آلی و ترکیبات مغذی فسفره زهاب ورودی و خروجی از نیزار طبیعی شامل BOD، COD، PO_4 و TP به‌صورت فصلی ارائه شده است. همان‌طوری که نشان داده شده است، راندمان حذف برای پارامترهای BOD و COD در هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در ایستگاه ST3 نسبت به ایستگاه‌های ST1 و ST2 بیشتر است و در ایستگاه ST3 بیشترین راندمان حذف برای هریک از پارامترهای BOD و COD در فصل زمستان و به ترتیب برابر با ۷۶/۰۷ و ۶۵/۵۶ درصد مشاهده می‌شود. کمترین راندمان حذف BOD و COD نیز در ایستگاه ST1 و در فصل بهار و به ترتیب برابر با ۱۸/۶۲ و ۱۶/۶۵ درصد حاصل شده‌است.



شکل ۵- درصد حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره زهاب خروجی تحت تأثیر نیزار طبیعی

Figure 5 - Removal percentage of organic matter and phosphorus compounds in output drainage water under the influence of natural reeds

راندمان حذف برای پارامترهای PO_4 و TP در هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در ایستگاه ST3 نسبت به ایستگاه‌های ST1 و ST2 بیشتر است و در ایستگاه ST3 بیشترین راندمان حذف PO_4 و TP در فصل پاییز به ترتیب برابر با ۹۳/۶۵ و ۹۲/۷۸ درصد حاصل شده‌است (شکل ۵). برابر نتایج به‌دست آمده از این پژوهش گیاه متداول نی توانسته است به‌طور مؤثری مواد آلی و ترکیبات فسفره را جذب کند زیرا این گیاه دارای زیست‌توده (بیومس) بزرگی در دو ناحیهٔ بالایی (برگ‌ها) و زیرین (ساقه و ریشهٔ زیرزمین) است که سطح سوبسترا محسوب می‌شوند. بافت‌های زیرسطحی گیاه، به طریق افقی و عمودی رشد می‌کنند و ماتریکس گسترده‌ای را به‌وجود می‌آورند که ذرات خاک را به هم متصل می‌سازد و سطوح گسترده‌ای را برای جذب مواد غذایی و یون‌ها فراهم می‌کنند. لوله‌های خالی در بافت‌های گیاهی، گیاه را قادر می‌سازد تا فرآیند تجزیهٔ هوازی فعال میکروبی و جذب آلاینده‌ها در سیستم آب اتفاق بیفتد (Wood, 1995; Vymazal *et al.*, 2005). این سیستم به‌عنوان سیستمی کارآمد می‌تواند در کاهش آلاینده‌های متداول زهاب در حد استانداردهای تصفیه زهاب و حذف BOD، COD، PO_4 و TP از زهاب کشاورزی و دفع آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی و آبیاری در مزارع کشاورزی موفق باشد. اطلاعات به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان معیارهای طراحی سیستم مورداستفاده مشاورین قرار گیرد. داده‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که نیزار طبیعی در حذف ترکیبات نیتروژنی راندمان حذف قابل‌قبولی دارد.

لازم است یادآوری شود عملکرد سیستم در فصل‌های مختلف به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که مهمترین آنها تغییرات کمیت و کیفیت زهاب ورودی، تغییرات دمای محیط و آب و همچنین کارایی و توان فرآیندهای مؤثر در تصفیه است. چون این عوامل طیف وسیعی را شامل می‌شوند، بعضاً اثرهای تداخلی و هم‌پوشانی آنها باعث کم‌رنگ‌تر شدن اثر فصل در نتایج می‌شود.

بررسی اثر زمان‌ماند بر درصد حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره در ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3

بیشترین اختلاف میانگین از نظر حذف BOD، COD، PO_4 و TP بین ایستگاه‌های ST1-ST3 به ترتیب با ۵۶/۵۶، ۴۱/۹۴، ۵۳/۴۶ و ۵۴/۲۸ درصد و کمترین اختلاف میانگین از نظر حذف BOD و COD نیز بین ST2-ST3 برابر با ۲۴/۰۲ و ۲۲/۵۰ درصد مشاهده می‌شود. کمترین اختلاف میانگین از نظر حذف PO_4 و TP نیز بین ایستگاه‌های ST1-ST2 به ترتیب با مقادیر ۲۰/۲۵ و ۲۵/۲۷ درصد مشاهده شده‌است. در ایستگاه ST1 که کمترین فاصله را نسبت به نقطه ورودی زهاب دارد، بیشترین اختلاف میانگین نسبت به ایستگاه ST3 را داراست. با توجه به درصد حذف BOD، COD، PO_4 و TP در ایستگاه ST1 می‌توان شاهد بود که این فاصله از نیزار به ازای هریک از زمان‌ماندهای ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز عملکرد پایین‌تری را در حذف مواد آلی و ترکیبات مغذی از خود نشان می‌دهد. در ایستگاه ST3 با بیشترین اختلاف میانگین نسبت به ایستگاه‌های ST2 و ST1 به ازای هریک از زمان‌ماند های ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز عملکرد بهتری را در حذف مواد آلی و ترکیبات مغذی از خود نشان داده است.

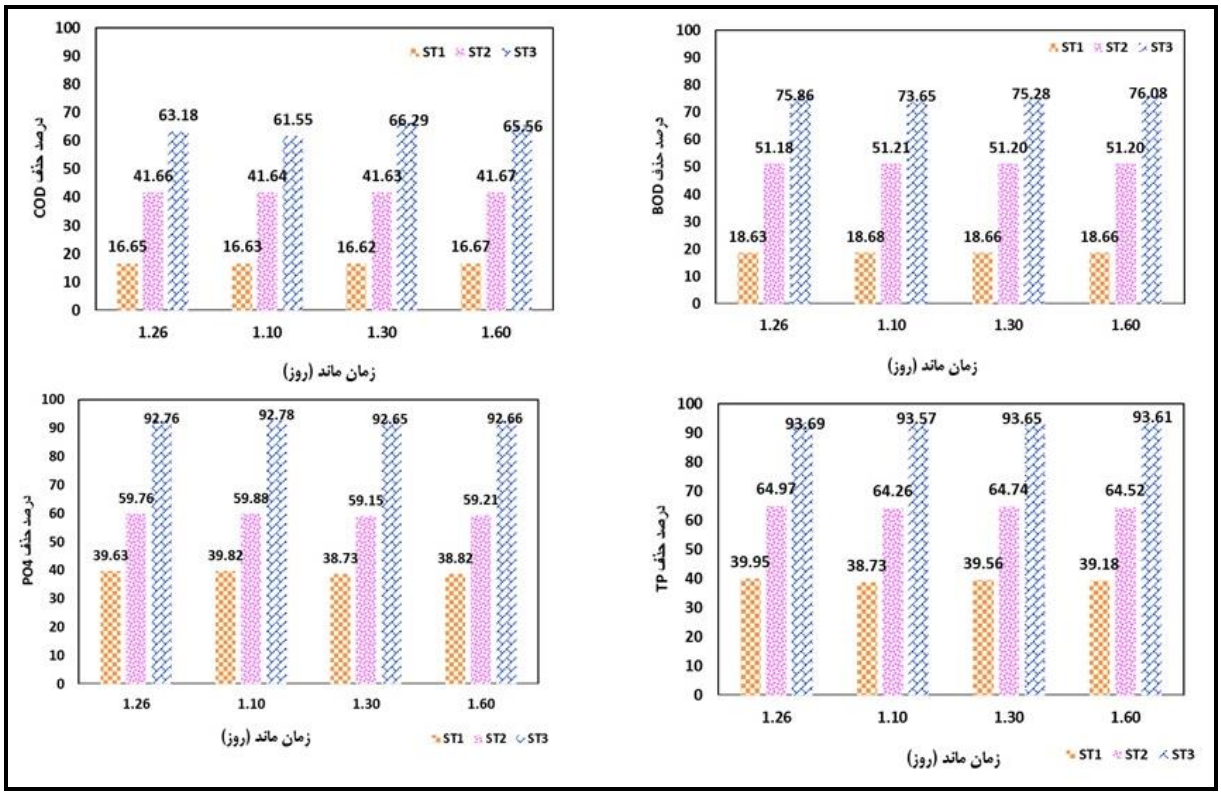
مقایسه راندمان حذف این پارامترها در هر یک از ایستگاه‌های موردمطالعه نشان‌دهندهٔ تأثیر فاصله از نقطهٔ ورودی زهاب در راندمان حذف پارامترهای موردمطالعه است که این تأثیر را در زمان‌ماندهای مختلف می‌توان مشاهده کرد (جدول ۳).

جدول ۳- تحلیل آماری اثر زمان‌ماند بر غلظت پارامترهای مورد اندازه‌گیری در ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون T-Test

Table 3- Statistical analysis of time effect on the concentration of measured parameters in different stations based on T-Test

ایستگاه‌های مورد مقایسه	پارامتر	اختلاف میانگین‌ها (٪)	معناداری دو دامنه‌ای
ST1-ST2	BOD	۳۲/۵۴	۰/۰۰۰**
ST1-ST3		۵۶/۵۶	۰/۰۰۰**
ST2-ST3		۲۴/۰۲	۰/۰۰۰**
ST1-ST2	COD	۲۵/۰۱	۰/۰۰۰**
ST1-ST3		۴۷/۵۰	۰/۰۰۰**
ST2-ST3		۲۲/۵۰	۰/۰۰۰**
ST1-ST2	PO_4	۲۰/۲۵	۰/۰۰۰**
ST1-ST3		۵۳/۴۶	۰/۰۰۰**
ST2-ST3		۳۳/۲۱	۰/۰۰۰**
ST1-ST2	TP	۲۵/۲۷	۰/۰۰۰**
ST1-ST3		۵۴/۲۸	۰/۰۰۰**
ST2-ST3		۲۹/۰۱	۰/۰۰۰**

روند تغییرات بازده حذف مواد آلی و ترکیبات مغذی BOD، COD، PO_4 و TP نسبت به زمان‌ماندهای ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود زمان‌ماندهای مختلف بر درصد حذف BOD، COD، PO_4 و TP در ایستگاه‌هایST1 ، ST2وST3 نتایج مختلفی ارائه می‌دهند. با افزایش فاصله از نقطهٔ ورودی زهاب به ازای هریک از زمان‌ماندهای ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز بیشترین درصد حذف مشاهده می‌شود، اما در هریک از ایستگاه‌ها، اختلاف هریک از زمان‌ماندها با یکدیگر در حذف BOD، COD، PO_4 و TP از زهاب با یکدیگر بسیار جزئی و قابل‌چشم‌پوشی است (شکل ۶). تفاوت درصد حذف به ازای هریک از زمان‌ماندها در ایستگاه های مختلف با یکدیگر اختلاف چشمگیری دارد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار حذف BOD و COD به‌ترتیب با ۷۶/۰۸، ۶۵/۵۶ درصد در زمان‌ماند ۱/۶۰ روز در ایستگاه ST3 مشاهده می‌شود و پس از آن ایستگاه ST2 در همان زمان‌ماند با حذف قابل‌قبول BOD و COD برابر با ۵۱/۲۰، ۴۶/۶۷ درصد عملکردی بهتر نشان داده است. اختلاف درصد حذف BOD و COD در هر یک از زمان‌ماندهای ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز، بین دو ایستگاه ST1 و ST3 بیشتر و نشان‌دهندهٔ کارایی پایین ایستگاه ST1 در حذف BOD، COD، PO_4 و TP در مقایسه با ایستگاه‌های ST2 و ST3 است.



شکل ۶- درصد حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره زهاب خروجی تحت تأثیر زمان‌ماندهای مختلف

Figure 6- Removal percentage of organic matter and phosphorus compounds in output drainage water under the influence of different retention time

برخلاف مواد آلی، بیشترین مقدار حذف PO_4 و TP به ترتیب با ۹۲/۷۸ و ۹۳/۶۹ درصد در زمان‌ماندهای ۱/۱۰ و ۱/۲۶ روز و در ایستگاه ST3 مشاهده می‌شود و ایستگاه ST2 نیز در هر دو پارامتر PO_4 و TP به ترتیب در زمان‌ماندهای ۱/۱۰ و ۱/۲۶ روز بهترین عملکرد را در حذف ترکیبات فسفره از خود نشان داده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود برای هریک از زمان‌ماندها، در ایستگاه ST3 که بیشترین فاصله را نسبت به نقطهٔ شروع دارد، بیشترین درصد حذف را شاهد هستیم که در شکل ۳ به‌خوبی تأثیر زمان‌ماند در هر یک از ایستگاه‌ها در حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

عملکرد نیزار در حذف پارامترهای موردبررسی قابل قبول است. میزان حذف مواد آلی و ترکیبات فسفره شامل BOD، COD، PO_4 و TP از زهاب خروجی از آخرین ایستگاه در نظر گرفته‌شده در نیزار نسبت به مقدار اولیه آن در زهاب ورودی پس از کاربرد نیزار کاهش چشمگیری پیدا کرده و با افزایش مقدار فاصله از نقطه ورودی این کاهش بیشتر شده است به‌طوری‌که در ایستگاه ST3 که بیشترین فاصله را از نقطه ورودی دارد، در مقایسه با ایستگاه‌های ST1 و ST2 بیشترین درصد حذف در هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان مشاهده می‌شود. نتایج تحقیق بیانگر تأثیر زیاد کاربرد نیزار در این فاصله از نقطه ورودی در کاهش BOD، COD، PO_4 و TP است. بالاترین درصد حذف BOD، COD، PO_4 و TP به ترتیب با مقادیر ۷۶، ۶۶، ۹۲ و ۹۴ درصد به ایستگاه ST3 و کمترین راندمان حذف به ترتیب با مقادیر ۱۹، ۱۷، ۳۸ و ۳۹ درصد به ایستگاه ST1 اختصاص دارد. زمان‌ماندهای ۱/۲۶، ۱/۱۰، ۱/۳۰ و ۱/۶۰ روز بر درصد حذف BOD، COD، PO_4 و TP در ایستگاه‌های ST1، ST2 و ST3 اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دارند به‌طوری‌که با افزایش فاصله از نقطهٔ ورودی زهاب به نیزار، به ازای هریک از زمان‌ماندها بیشترین درصد حذف مشاهده می‌شود.

با توجه به عملکرد متفاوت ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۳ برای اجزای مختلف مواد آلی و ترکیبات مغذی و با توجه به هدف راندمان حذف بالای ۵۰ درصد جمیع مواد آلی و ترکیبات مغذی تا ایستگاه S2، می‌توان ایستگاه شماره ۲ را به‌عنوان حد بهینه از نظر کارایی و هزینه در نظر گرفت.

مراجع

A. P. H. A. (2017) Standard methods for the examination of water and wastewater 23rd edition. American Public Health Association, Washington DC, USA.

Akhavan, K., Shah-Nazari, A. & Yargholi, B. (2017). Evaluating capability of biological filters for treatment of agricultural drainage water: A case study in Moghan irrigation and drainage network. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 18(69): 135-144. (In Persian)

Anton, J. M., Romero, A. G, Cuquerella, J. M., Pastor, J. V. & Villanueva, V. O. (2020). Alternative use of rice straw ash as natural fertilizer to reduce phosphorus pollution in

protected wetland ecosystems. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.* 9: 61-74.

Baird, R.B. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association.

Bakhshoodeh, R., Alavi, N., Oldham, C., Santos, R. M., Babaei, A. A., Vymazal, J. & Paydary, P. (2020). Constructed wetlands for landfill leachate treatment: *A review. Ecological Engineering.* 146: 1-11.

Darajeh, N., Idris, A., Masoumi, H. R., Nourani, A., Truong, P. & Sairi, N. A. (2016). Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by Chrysopogon zizanioides (L.) using response surface methodology. *Journal of Environmental Management.* 181: 343-352.

Haarstad, K., Bavor, H. & Maehlum T. (2012). Organic and metallic pollutants in water treatment and natural wetlands: a review. *Water Science and Technology.* 65:77–99.

Jamshidi, Sh., Imani Amirabad, S. & Faizi Khankandi, A. (2016). Vetiver grass yield in artificial wastewater treatment ponds. First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development, Ardabil.

Kalankesh, L., Rodríguez-Couto, S., Dadban Shahama, Y. & Ali Asgarnia, H. (2019). Removal efficiency of nitrate, phosphate, fecal and total coliforms by horizontal subsurface flow-constructed wetland from domestic wastewater. *Environmental Health Engineering and Management Journal.* 6(2): 105-111.

Khoshnavaz, P., Boroumand Nasab, S. & Moazed, H. (2014). Investigation of nitrate removal efficiency of agricultural wastewater of Karun agro-industry in artificial surface wetland with Vetiveria zizaniodes. *Wetland Ecobiology Quarterly.* 6(21): 14-5.

Kim, K., Kim, K., Asaoka, S., Lee, I.-C., Kim, D.S. & Hayakawa, S. (2018). Quantitative measurement on removal mechanisms of phosphate by class–F fly ash. *International Journal of Coal Preparation and Utilization.* 40 (12): 892-903.

Li, L., Feng, J., Zhang, Yin, H., Fan, C., Wang, Z., Zhao, M., Ge, C. & Song, H. (2021). Enhanced nitrogen and phosphorus removal by natural pyrite–based constructed wetland with intermittent aeration. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15461-6.

Marzec, M., Jóźwiakowski, K., Dębska, A., Gizińska-Górna, M., Pytka-Woszczyło, A., Kowalczyk-Juśko, A. & Listosz, A. (2018). The efficiency and reliability of pollutant removal in a hybrid constructed wetland with common reed, manna grass, and Virginia mallow. *Water.* 10. 1445.

Mohd-Said, N. S., Sheikh-Abdullah, S. R., Ismail. N. I., Hasan, H. A. & Othaman, A. R. (2020). Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system. *Environmental Technology & Innovation.* 17: 1-19.

Sharifipour, M., Liaghat, A., Naseri, A., Nozari, H., Hajishah, M., Zarshenas, M., Hoveizeh, H. & Nasri, M. (2020). Drainage Water Management of Irrigation and Drainage Networks of South West Khuzestan. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 51 (2): 525-539.

Vymazal J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological engineering.* 25(5): 78-490.

Wood A. (1995). Constructed wetlands in water pollution control: Fundamentals to their understanding. *Water Science and Technology.* 32(3): 21-29.

Yargholi, B. & Akhavan, K. (2015). Evaluation of quantity and quality of drainage water and the possibility of its use in agriculture (Case study of Moghan irrigation and drainage network). Research Report No. 48715. *Iran Agricultural Engineering Research Institute.*

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.23/No.86/ Spring 2020/P:1-18

Performance Evaluation of Natural Reed Bed in Removal of Organic from Khuzestan Sugarcane Fields Matter and Phosphorus Compounds Drainage Water

B. Yargholi *, E. Kanani and S. Sepehri Sadeghian

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. Email: yar_bahman@yahoo.com
Received: 18 October 2021, Accepted: 10 July 2022

Extended Abstract

Introduction

The growing need for food and the increase in agricultural production, and consequently the increasing demand for water on the one hand, and the harmful environmental effects of agricultural drainage water on natural ecosystems and receptive water resources on the other, have led the world to look for methods and techniques that, along with reducing the harmful and adverse consequences of drainage water, make it possible to reuse them to meet part of human needs. In many areas facing water shortages for irrigation, drainage water is used to meet the crop's water requirement. Due to high volume and special quality, agricultural drainage water have a high potential for pollution in the environment, especially water resources. According to water shortage in Iran and population growth and increasing water needs in various uses, planning for the protection and quality management of water resources and optimal use of unconventional water, especially agricultural drainage water as alternative water resources has become more necessary.

Methodology

For this purpose, the present study investigated the efficiency of a natural reed bed on a real scale in qualitative treatment of incoming drainage water of Khuzestan sugarcane during a period of one year (2010-2011). According to the trend of qualitative changes and wastewater treatment stages at the reed bed level, the length of the reed bed was divided into three parts, namely three stations ST1, ST2, and ST3 with a length and width of 3.5*1.2 hectares, respectively. The efficiency of the natural reed bed was evaluated by measuring parameters such as BOD, COD, PO_4, and TP.

Results and Discussion

The results of the T-Test showed that there are significant differences in terms of BOD values between ST0-ST1, ST0-ST2, ST0-ST3, ST1-ST2, ST1-ST3, and ST2-ST3 study stations. The highest difference in BOD was observed between ST0 and ST3 stations equal to 6.96 mg/l. In addition, the lowest difference in BOD was detected between ST0 and ST1 equal to 1.73 mg/l. At the ST3 station, which is the farthest from the entry point, the highest percentage of BOD removal was obtained. There was a significant difference of 1% for COD between study stations. The largest difference in COD was observed between ST0 and ST3 stations equal to 9.62 mg/L followed by ST1-ST3 stations equal to 7.12 mg/L. There was also a significant difference of 1% levels in PO_4 and TP of study stations and the highest difference in PO_4 and TP with 0.2724 and 0.3790 mg/l, respectively, between stations. ST0-ST3 was observed. The results showed that the performance of the reed in eliminating the studied parameters was very good and acceptable. The removal efficiency of BOD, COD, PO4, and TP to the last station was noticeable and acceptable in all four seasons. Under different retention times (1.26, 1.10, 1.30, and 1.60 days), the removal percentage of BOD, COD, PO4, and TP was significant in ST1,

ST2, and ST3 stations and with increasing the distance from the entry point, of the drain, the reed efficiency increased. Considering the different performances of the three stations in improving the quality of drainage and considering the efficiency target above 50% of all organic matter and phosphorus compounds, the ST2 station can be assumed as the optimal limit in terms of efficiency and cost.

Conclusions

In general, this system can be used as an efficient system in reducing common drainage water pollutants to the level of drainage water treatment standards and acceptable reduction of BOD, COD, PO4 and TP parameters of agricultural drainage water and improving the quality of this drainage water for discharge to surface and groundwater and also reuse for irrigation in agricultural fields.

Keywords: Agricultural drainage Water, Bioremediation, Natural reeds, Nutrient compounds